



Qual é o dispositivo servo de feedback de posição correto para a sua aplicação?

**A precisão e a responsividade de um sistema de servo de circuito fechado dependem da qualidade do dispositivo de feedback de posição. Alguns dispositivos também têm recursos que podem melhorar significativamente a produtividade e a segurança da máquina. Entenda as tecnologias disponíveis para poder fazer a escolha correta para suas necessidades.**

## O que é um dispositivo de feedback de posição?

Um dispositivo de feedback de posição mede a posição da saída mecânica de um motor em relação à parte estacionária. No caso de um motor rotativo padrão, o dispositivo mede a posição do eixo/rotor em relação à carcaça do motor/estator. Em um motor linear, é medida a posição da bobina móvel em relação à estrutura do ímã estacionário. É possível calcular a velocidade do movimento e até mesmo a aceleração por meio de medições de posição ao longo do tempo.

Existem vários tipos de dispositivos de feedback de posição, baseados em vários tipos de sensores analógicos. Os tipos de detecção por sensor mais comuns são:

- Óptico, como o do SFD-M, o dispositivo de feedback absoluto multivoltas inteligente da Kollmorgen
- Indutivo, como o dos resolvers ou dos dispositivos da série EQI da Heidenhain
- Capacitivo, como o dos dispositivos da série EEM37 da SICK's

Cada tipo de detecção por sensor tem seus prós e contras relacionados a custo, tamanho, desempenho, robustez e temperatura operacional.

No caso dos servomotores rotativos padrão, os dispositivos de feedback de posição geralmente são montados dentro da parte traseira do motor, como mostra a Figura 1, a vista explodida de um servomotor AKM2G da Kollmorgen equipado com o dispositivo de feedback SFD-M.

## Por que o servomotor precisa de um dispositivo de feedback de posição?

Alguns motores — por exemplo, os motores operados por AC, motores a indução de velocidade variável e motores de passo — funcionam sem dispositivos de feedback de posição. Entretanto, no caso das aplicações que exigem um controle de movimento preciso, os motores que operam em modo de circuito aberto sem dispositivos de feedback de posição podem comprometer a qualidade do movimento pelos seguintes motivos:

- Incapacidade de manter uma posição mecânica constante
- Regulagem inadequada da velocidade quando se requer velocidade constante
- Lentidão na troca de velocidade
- Lentidão no tempo de movimento de uma posição para outra
- Falta de suavidade no movimento
- Ficar “perdido” ao, por exemplo, se assentar em uma posição muito errada
- Pouca eficiência térmica ou necessidade de especificar um motor de tamanho maior.

O dispositivo de feedback de posição em um sistema de circuito fechado possibilita o **controle de movimento mais preciso.**

É possível eliminar todos esses problemas rastreando a posição medida do motor em um circuito de servo controle.

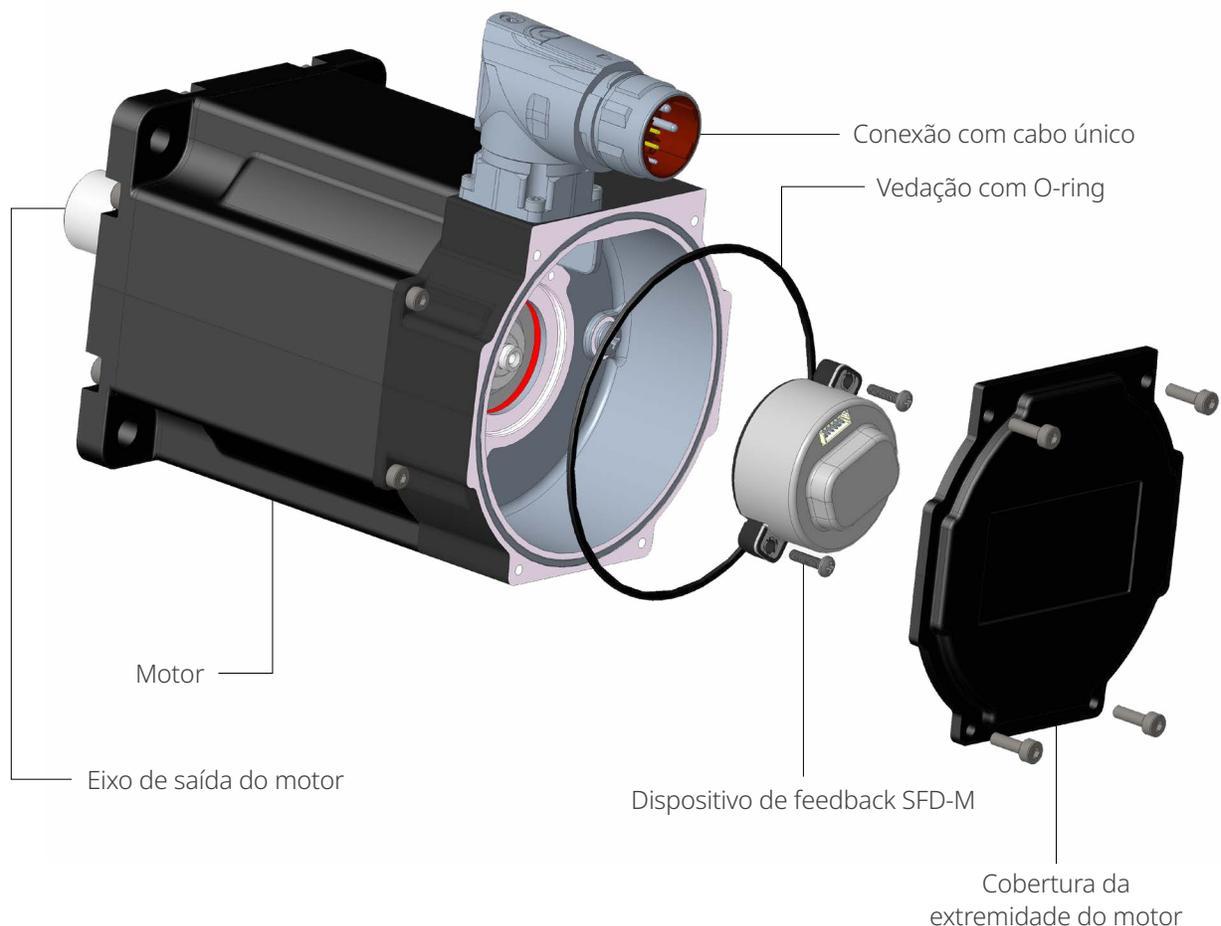


Figura 1. Vista explodida do servomotor AKM2G da Kollmorgen com feedback SFD-M

## Como o feedback de posição é usado?

### Circuito de servo controle

A posição medida do motor é o dado utilizado por um controlador eletrônico, conhecido como drive do motor, em um circuito de servo controle.

O objetivo de um circuito de servo controle é acionar continuamente o menor valor de erro possível — em outras palavras, acionar a saída do bloco de sensores de feedback de forma que seja tão próxima quanto possível do valor do comando de entrada.

Na Figura 2, o bloco identificado como "sensores de feedback" é o dispositivo de feedback de posição para o servomotor no sistema. O ideal é que o circuito de servo tente acionar a posição de saída do motor, conforme a medição do dispositivo de feedback, de forma que seja tão próxima quanto possível da posição comandada. Em uma variação da Figura 2, o bloco de sensores de feedback usa a derivada da posição medida para fornecer o feedback da velocidade, e o circuito controla a velocidade do motor.

Pode-se argumentar que a qualidade do dispositivo de feedback de posição é o elemento mais importante para a qualidade de movimento obtido pelo sistema de servo. Essa conclusão se segue do fato de que um circuito de servo não pode acionar diretamente a posição de saída de forma que seja igual ao comando de entrada. Em vez disso, ele aciona o valor de feedback de forma que seja igual ao comando. Qualquer erro de medição no sensor de feedback causará, necessariamente, erros/distorções na posição real do motor.

Quando o circuito de servo controle é muito estrito, ou seja, quando o sinal de erro é muito reduzido, a posição real de saída apresenta um erro que é inverso ao erro de medição do sensor de feedback. Considere um sensor de feedback de posição que apresente erros de ondulação cíclicos em sua posição medida. Quando o drive comanda uma velocidade constante, o movimento real do motor apresenta uma ondulação cíclica inversa que cancela os erros de medição do sensor de feedback.

Quanto melhor for o dispositivo de feedback de posição, melhor será o movimento resultante. Entretanto, no caso dos dispositivos montados dentro do motor, há um limite para o nível de qualidade real que é necessário.

Muito frequentemente, o motor aciona alguma forma de ligação mecânica, como uma polia, uma caixa de engrenagens, um acoplador ou uma rosca de avanço. O que importa é o movimento na extremidade desses elementos mecânicos. Mesmo que o movimento do eixo do motor seja perfeito, é improvável que o movimento na extremidade dos elementos mecânicos conectados seja perfeito. Para evitar erros da ordem de alguns minutos de arco (medidos no eixo do motor) nesses sistemas mecânicos conectados, o custo seria alto e seria necessário muito cuidado.

Portanto, é improvável que um dispositivo de feedback de posição com precisão da ordem de poucos segundos de arco melhore significativamente o movimento na extremidade dos elementos mecânicos conectados, onde a qualidade do movimento realmente importa.

### Comutação eletrônica de um motor

Para obter o movimento desejado, muitos motores requerem formas de onda CA adequadamente sincronizadas. Nos motores originais com escovas, essa sincronização era realizada por um comutador mecânico. Nos servomotores de ímã permanente sem escovas, um dispositivo de feedback de posição fornece ao drive as informações necessárias para sincronizar eletronicamente a excitação dos enrolamentos do motor conforme o necessário para tarefas de movimento específicas. A comutação eletrônica dos enrolamentos do motor proporciona muitos benefícios relacionados ao desempenho, como a possibilidade de que motores menores e de custo mais baixo forneçam as especificações determinadas de potência mecânica e torque. Em alguns tipos de motor, a comutação eletrônica requer a informação da posição absoluta dentro de um ciclo elétrico do motor.

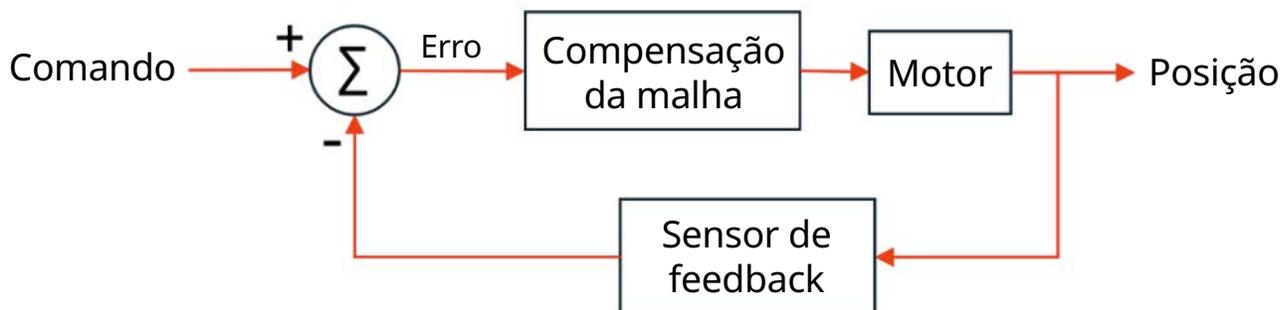


Figura 2. Circuito de servo controle básico

## O que é posição absoluta?

O dispositivo de feedback de posição mais básico fornece a posição incremental. Isso significa que, quando o dispositivo é ligado, ele sempre informa a posição 0, independentemente da posição física real do rotor e, em seguida, mede a distância incremental percorrida desde o último acionamento. Em algumas aplicações, como o movimento em velocidade constante, essas informações são suficientes.

Entretanto, na maioria das aplicações, é necessário saber a posição real dentro de um espaço operacional. Os dispositivos de feedback de posição absoluta fornecem a posição relativa a uma posição 0 que é sempre fixa, em vez de realizar um reset em um ponto diferente a cada acionamento. Esse tipo de posição é conhecido como posição absoluta. Há vários tipos de dispositivos de feedback de posição absoluta, que variam em relação à faixa de posição absoluta:

### COMUTAÇÃO

Fornecer informações suficientes sobre a posição absoluta dentro de um ciclo elétrico do motor no momento do acionamento para comutar o motor eletronicamente. Em relação ao feedback de posição, fornece apenas a posição incremental ou a posição absoluta dentro de um ciclo elétrico do motor, que corresponde a menos de uma revolução completa do motor. Um encoder incremental combinado a um sensor de efeito Hall e um resolver multivelocidades são exemplos disso.

### Absoluto de volta única

Fornecer um valor de posição absoluta que é exatamente correto dentro de uma revolução mecânica de 0 a 360 graus no momento do acionamento. Resolvers de velocidade única e alguns dispositivos ópticos, capacitivos ou indutivos são exemplos disso.

### Absoluto multivoltas

Fornecer a posição absoluta dentro de uma revolução mecânica mas também rastrear a quantidade de revoluções completas que ocorreram. Normalmente, dispositivos de feedback absoluto multivoltas têm uma capacidade de contagem que varia de 4.069 voltas (12 bits ou 2 elevado a 12) a 65.536 voltas (16 bits ou 2 elevado a 16). Há quatro formas básicas de implementar o feedback absoluto multivoltas:

1. Salvar a posição atual em uma memória não volátil no momento do desligamento e restaurar no momento do acionamento.
  - A posição do motor não pode ser alterada enquanto o dispositivo está desligado.
  - Tem o custo mais baixo e a menor variedade de aplicações possíveis.
2. A bateria de reserva alimenta um contador de voltas.
  - O motor pode ser movimentado quando o dispositivo está desligado.
  - A bateria ocupa espaço, requer manutenção e tem um custo.
  - Há o risco de que períodos longos de desligamento comprometam a vida útil.
3. Uso de engrenagens com leituras individuais. Por exemplo: DSL da SICK ou EnDat da Heidenhain.
  - O motor pode ser movimentado quando o dispositivo está desligado.
  - Já que as engrenagens aumentam o tamanho do codificador, o motor pode ficar mais longo.
  - As engrenagens são caras e as tolerâncias de montagem são reduzidas.
4. Captação de energia. Quando o dispositivo está desligado, a movimentação manual do motor aciona um contador de voltas em uma memória não volátil. Por exemplo: SFD-M da Kollmorgen.
  - O motor pode ser movimentado quando o dispositivo está desligado.
  - É mais robusto e a faixa de contagem de voltas é maior que a das engrenagens.
  - É menor que as engrenagens, tem um custo mais baixo e requer tolerâncias menos precisas.

Quase todas as aplicações podem se beneficiar do feedback absoluto multivoltas. Por exemplo: nas aplicações em que a rotação do motor é convertida para um movimento linear de amplitude limitada, como uma tabela X-Y, o feedback absoluto multivoltas possibilita a produtividade imediata assim que o dispositivo é ligado, sem necessidade das demoradas rotinas de homing nem de sensores e fiação de homing, que têm alto custo.

Historicamente, o alto custo do acréscimo da funcionalidade absoluta multivoltas aos dispositivos de feedback de posição fez com que muitas aplicações não aproveitassem os seus benefícios. Atualmente, já não é tão necessário aceitar limitações. Especificamente, o dispositivo de feedback de posição SFD-M da Kollmorgen fornece todos os benefícios da funcionalidade absoluta multivoltas com tecnologia de captação de energia, sem custo extra em comparação com um dispositivo incremental de volta única.

## Especificações importantes dos dispositivos de feedback

As especificações que definem o desempenho e a utilidade dos dispositivos de feedback de posição são:

### Resolução

A distância mínima de movimento que pode ser medida. Também conhecida como quanta de posição. Geralmente, a resolução é especificada como o número de bits binários/revoluções. Quanto maior a quantidade de bits/revoluções, melhor — até atingir o ponto de retornos decrescentes. Esse valor também determina a resolução de velocidade, determinada pela diferenciação da posição. Em um servomotor rotativo industrial típico, é recomendável ter pelo menos 16 bits/revolução e, de preferência, 24 bits/revolução, que proporcionam  $2 \text{ elevado a } 24 = 16.777.216$  posições medidas distintas por revolução mecânica. Acima de 24 bits/revolução, o retorno do investimento diminui rapidamente.

### Precisão

A diferença entre a posição medida do dispositivo e a posição real exata do motor. Em geral, a precisão é especificada como o erro na pior das hipóteses em relação à posição real, na forma de +/- minutos de arco do ângulo. Quase sempre, a precisão é muito maior (pior) que a resolução.

### Ondulação de velocidade

Quando a velocidade real é constante, a estimativa de velocidade da posição medida diferenciada apresentará ondulações devido a erros na posição medida. A ondulação da velocidade é expressa como um percentual de p-p, pois a amplitude dessas ondulações de velocidade no valor medido é diretamente proporcional à velocidade. Ondulação de rpm = (% de ondulação)\*(rpm do motor). A ondulação de velocidade é causada por erros de precisão da posição, mas um dado erro +/- de posição na pior das hipóteses não determina diretamente o percentual da ondulação de velocidade.

### Ruído de posição

Quando o motor estiver perfeitamente estacionário, o valor da posição medida não terá um valor fixo. Terá um ruído aleatório, fazendo com que o valor apresente variações. Esse ruído será a soma do ruído inerente ao método de sensoriamento analógico com qualquer ruído acoplado a ele por EMI a partir de ruídos como tensões de modulação da amplitude de pulso em um enrolamento de motor. Geralmente, o ruído é especificado como a variação do RMS da posição. Em dispositivos de alta resolução, a amplitude do ruído de posição geralmente fica entre as especificações de resolução e precisão. De modo contraintuitivo, não é desejável ter um dispositivo de feedback de posição com ruído 0, conhecido como quantizador ideal. Com o acréscimo de um ruído aleatório, pode-se calcular a média do sinal ou filtrá-lo para obter uma resolução mais alta que a especificação de resolução. É melhor ter 1-2 bits menos significativos de ruído aleatório da resolução.

### Frequência de acomodação

A velocidade de resposta de cada sensor a mudanças em sua entrada é limitada. A largura de banda do sensor de posição é expressa como a frequência, em Hz, de quando o movimento senoidal medido, comparado com o movimento da posição senoidal real cai, em termos de amplitude, para -3 dB ou 0,707x. A largura de banda de um dispositivo de feedback de posição precisa ser maior que a largura de banda do movimento desejado do circuito de servo fechado.

- Latência/fase** Cada sensor tem um atraso de fase ou até mesmo uma latência (atraso de tempo) entre a entrada e o valor medido. Em geral, o atraso de fase líquido é expresso em graus elétricos a uma frequência senoidal operacional, em Hz. O atraso de fase na largura de banda do circuito de servo fechado desejado deve ser pequeno o suficiente para não causar problemas de estabilidade.
- Temperatura** Limite (superior ou inferior) de temperatura do dispositivo para que ele continue operando dentro das especificações. Normalmente, os componentes do motor podem operar em temperaturas mais altas que as dos dispositivos de feedback. Isso significa que o torque contínuo do motor é limitado pela temperatura operacional máxima do dispositivo de feedback de posição.
- Robustez** Frequentemente, as aplicações dos servomotores envolvem vibração e impactos mecânicos que ocorrem, por exemplo, em máquinas de prensa e veículos. Cada dispositivo de feedback de posição consegue suportar uma determinada faixa de impacto e vibração mecânica e ainda operar dentro das especificações. Alguns dispositivos são mais robustos que os outros.

## Recursos úteis dos dispositivos de feedback

Além de sua função principal, que é medir a posição do motor, os dispositivos de feedback modernos podem incluir vários recursos que aprimoram a funcionalidade e o valor, tais como:

- ID do motor** Dispositivos de feedback de posição que incluem links de comunicação digital com o drive frequentemente incluem uma memória não volátil. A programação dessa memória com os valores da ficha de dados do motor faz com que, no momento do acionamento, o drive possa saber a qual motor ele está conectado e se configurar automaticamente para ser compatível com esse motor. Na Kollmorgen, os dispositivos com memória são programados com as informações de ID de motor da Kollmorgen, que podem ser usados pelos drives da empresa na configuração automática.
- Sensor térmico** Alguns dispositivos digitais de feedback de posição têm uma entrada que pode ser conectada ao sensor térmico do enrolamento do motor e, em seguida, pode comunicar o valor medido ao drive pelo link de comunicação digital. Isso elimina a necessidade de conectar fisicamente o sensor térmico do motor ao drive.
- Cabo único** Os dispositivos de feedback de posição que se comunicam digitalmente com o drive podem funcionar com poucos fios — quatro fios, por exemplo — ou até mesmo com dois fios, em dispositivos como o SFD-M da Kollmorgen ou o Hiperface DSL da SICK. Isso é uma vantagem significativa sobre, por exemplo, os resolvers, que requerem 8 fios, os dispositivos incrementais + efeito Hall, que requerem 13, ou o EnDat 2.2/01, que requer 14 fios. Com apenas 2 ou 4 fios de feedback, é possível que um único cabo híbrido alimente o motor e forneça feedback entre o drive e o motor. Por sua vez, fios em grande quantidade ou sensores analógicos diretos requerem dois cabos: um para a alimentação e outro para os dados de feedback. A tecnologia de cabo único reduz as despesas e o trabalho de instalação.
- Segurança funcional** Em máquinas modernas, é desejável possibilitar que os operadores trabalhem nelas sem necessidade de desligá-las totalmente. Para garantir a segurança do operador, os servos podem incorporar um dispositivo de feedback de posição funcional certificado por terceiros. Essa funcionalidade certificada permite que os servos ativos mantenham uma posição fixa enquanto o operador trabalha na máquina com segurança. Normalmente, isso melhora a produtividade média da máquina e, ao mesmo tempo, oferece um ambiente de trabalho mais seguro para os operadores.



## Tabela comparativa de dispositivos de feedback

Combinando todas as métricas de desempenho, funcionalidades e recursos abordados e acrescentando a precificação relativa, podemos montar uma tabela comparativa abrangente que mostre o bom, o melhor e o melhor de todos entre vários dispositivos de feedback de posição disponíveis. Consulte a Tabela 1.

Dispositivo	Preço	Analógico ou digital	Posição inicial	Tipo de pos. inic.	Resolução	Precisão	Velocidade Ruído	ID do motor	Único Cabo	Robustez mecânica	Temperatura	Comprimento do motor	Segurança funcional
SFD-M	Baixa	Digital	16 bits	Captação de energ.	Alto	Alto	Muito Baixa	Sim	Sim	Alto	Alto	Mais curto	Não
SFD-3	Baixa	Digital	Único	-	Alto	Baixa	Média	Sim	Sim	Alto	Alto	Mais curto	Não
SFD	Baixa	Digital	Único	-	Alto	Baixa	Média	Sim	Sim	Alto	Alto	Mais curto	Não
Resolver	Baixa	Analógico	Único	-	Média	Baixa	Alto	Não	Não	Muito alto	Muito alto	Mais curto	Não
Encoder incremental + Halls	Média	Analógico	Comutar	6 passos	Baixa	Média	Média	Não	Não	Média	Média	Mais curto	Não
Analógico óptico BiSS B	Média	Analóg./dig.	Único	-	Muito alto	Muito alto	Baixa	Sim	Não	Média	Média	Mais longo	Não
Analógico óptico BiSS B	Alto	Analóg./dig.	12	Engrenagens	Muito alto	Muito alto	Baixa	Sim	Não	Média	Média	Mais longo	Não
Digital BiSS C	Alto	Digital	12	Engrenagens	Muito alto	Muito alto	Baixa	Sim	Não	Média	Média	Mais longo	Não
Analógico óptico Hiperface	Média	Analóg./dig.	Único	-	Média	Alto	Baixa	Sim	Não	Média	Baixa	Mais longo	Não
Analógico óptico Hiperface	Alto	Analóg./dig.	12	Engrenagens	Média	Alto	Baixa	Sim	Não	Média	Baixa	Mais longo	Não
Óptico DSL Hiperface	Média	Digital	Único	-	Média	Alto	Baixa	Sim	Sim	Média	Baixa	Mais longo	Não
Óptico DSL Hiperface	Média	Digital	12	Engrenagens	Média	Alto	Baixa	Sim	Sim	Média	Baixa	Mais longo	Não
Capacitivo Hiperface	Média	Digital	Único	-	Média	Alto	Média	Sim	Sim	Alto	Baixa	Mais longo	Não
Capacitivo Hiperface	Média	Digital	12	Engrenagens	Média	Alto	Média	Sim	Sim	Alto	Baixa	Mais longo	Não
Capacitivo DSL Hiperface	Média	Digital	12	Engrenagens	Média	Alto	Média	Sim	Sim	Alto	Baixa	Mais longo	Sim
Óptico analógico EnDat 2.2/01	Média	Analóg./dig.	Único	-	Muito alto	Muito alto	Baixa	Sim	Não	Média	Baixa	Mais longo	Não
Óptico analógico EnDat 2.2/01	Muito alto	Analóg./dig.	12	Engrenagens	Muito alto	Muito alto	Baixa	Sim	Não	Média	Baixa	Mais longo	Não
Analógico indutivo EnDat	Média	Analóg./dig.	Único	-	Média	Alto	Média	Sim	Não	Alto	Baixa	Mais longo	Não
Analógico indutivo EnDat	Média	Analóg./dig.	12	Engrenagens	Média	Alto	Média	Sim	Não	Alto	Baixa	Mais longo	Não
Digital indutivo EnDat 2.2	Muito alto	Digital	12	Engrenagens	Média	Alto	Média	Sim	Sim	Alto	Baixa	Mais longo	Sim

Tabela 1. Tabela comparativa de preços, desempenho e recursos dos dispositivos de feedback de posição

## Faça a escolha certa

### Aplicações gerais de controle de movimento

Com base na tabela comparativa, fica claro que o SFD-M é a melhor opção para a maioria das aplicações. Suas características:

- Precificado conforme o seu valor
- Tem resolução absoluta multivoltas de 16 bits
- Oferece alto desempenho

### Recomendações de aplicações especiais

Entretanto, existem algumas aplicações especializadas em que o SFD-M não seria a melhor opção. Esses casos especiais estão listados a seguir, com os dispositivos de feedback adequados para eles e seus códigos de pedido.

1. Requer segurança funcional certificada:
  - Segurança capacitiva GU BiSS
  - Segurança indutiva LD EnDat
    - Custo mais alto ou muito mais alto e motor mais longo que o do SFD-M
2. Requer a mais alta precisão de posição para o direct drive:
  - DA, DB EnDat óptico
  - AA, AB BiSS óptico
    - Custo mais alto e motor mais longo que o do SFD-M
3. Não usa um drive de motor da Kollmorgen:
  - Escolha um dispositivo de feedback compatível com o drive



## A Kollmorgen acompanha você durante todo o caminho com processos comprovados e entrega confiável

Nós trabalharemos com você na fase de projeto inicial para entender seus requisitos e, então, fornecer o suporte de engenharia necessário para simplificar a programação, a configuração, a dimensão e a seleção do sistema de Motion. Com nossos extensivos recursos de configuração, nós rapidamente fazemos o protótipo, entregamos e iteramos sua solução, conforme o necessário, para economizar meses no processo de desenvolvimento.

Quando seu projeto final estiver pronto, nós faremos toda a documentação e ajudaremos a passar pelas certificações necessárias em qualquer região. Com a manufatura enxuta, os processos reproduzíveis e os controles de qualidade, nós passaremos rapidamente da prototipagem para a produção em escala, entregando seus sistemas de Motion no prazo, todas as vezes. Além disso, ofereceremos suporte regional de longo prazo para sustentar a entrega do produto em todo o ciclo de vida da aplicação, gerenciando custos e escalando a produção conforme o necessário.

## Pronto para avançar?

[Entre em contato com a Kollmorgen](#) para tratar de suas necessidades e objetivos com um especialista da Kollmorgen em aplicações.

## Sobre a Kollmorgen

A Kollmorgen, uma marca Regal Rexnord, tem mais de 100 anos de experiência em Motion, comprovada com motores, drives, soluções de controle para AGV e plataformas de controle de automação de maior desempenho e confiabilidade do setor. Oferecemos soluções inovadoras que são inigualáveis em desempenho, confiabilidade e facilidade de uso, dando aos fabricantes de máquinas uma vantagem inquestionável no mercado.